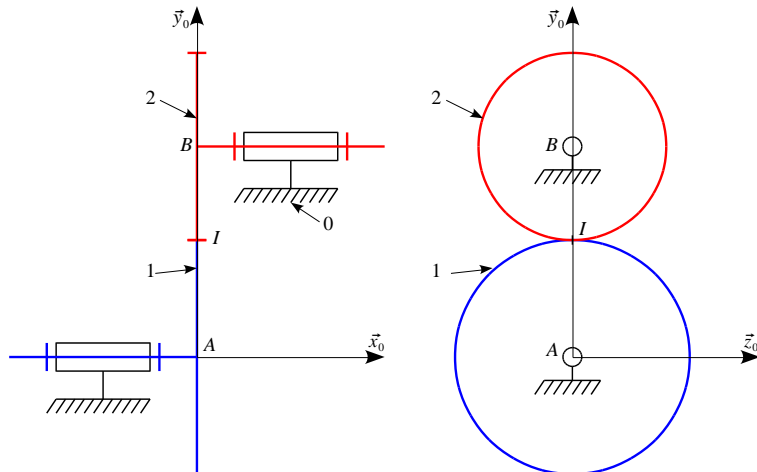


## Exercice n°1 Train d'engrenage extérieur



Roue 1 :

Pignon 2 :

$R_1$  : Rayon primitif

$R_2$  : Rayon primitif

$Z_1$  : Nombre de dents

$Z_2$  : Nombre de dents

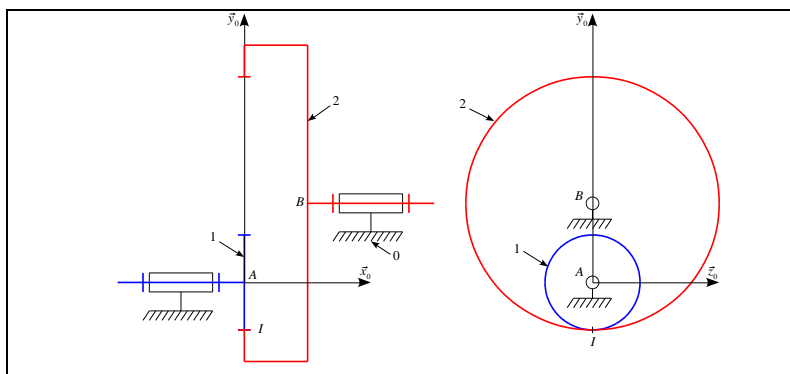
La loi d'entrée sortie est :

$$\frac{\omega_{2/0}}{\omega_{1/0}} = -\frac{Z_1}{Z_2}$$

**Question n°1** Exprimer le rapport de réduction  $r = \frac{\omega_{2/0}}{\omega_{1/0}}$ . (A démontrer)

## Exercice n°2 Train d'engrenage intérieur

Données :



Pignon 1 :

Couronne 2 :

$R_1$  : Rayon primitif

$R_2$  : Rayon primitif

$Z_1$  : Nombre de dents

$Z_2$  : Nombre de dents

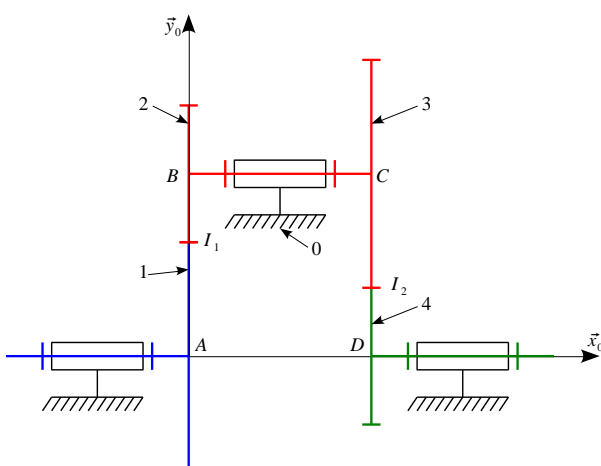
La loi d'entrée sortie est :

$$\frac{\omega_{2/0}}{\omega_{1/0}} = \frac{Z_1}{Z_2}$$

**Question n°2** Exprimer le rapport de réduction  $r = \frac{\omega_{2/0}}{\omega_{1/0}}$ . (A démontrer)

## Exercice n°3 Réducteur à trains d'engrenage simples (axes fixes)

### A. Train double



On étudie maintenant le cas de deux engrenages en série.

**Données :** On note pour la roue dentée i

- $R_i$  : Rayon primitif
- $Z_i$  : Nombre de dents

**Question n°1 :** Utilisez les formules précédentes, afin de

déterminer rapidement le rapport  $\frac{\omega_{4/0}}{\omega_{1/0}}$

**Question n°2 :** Généraliser la relation précédente au cas de n trains d'engrenages en série

## B. Relation cinématique pour un train d'engrenage

Le rapport de réduction d'un train d'engrenage est déterminé par la relation suivante :

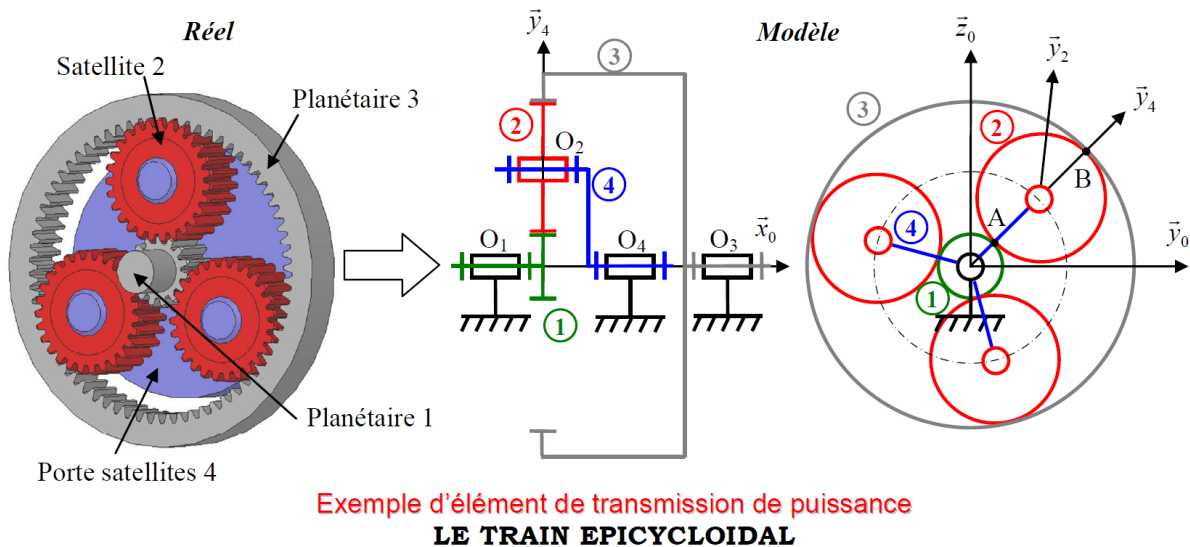
$$r = \frac{\Omega_{sortie}}{\Omega_{entrée}} = (-1)^n \frac{\prod Z_{menante}}{\prod Z_{menée}}$$

où

- $n$  = nombre de contacts extérieurs entre les pignons qui permet de déterminer le sens de rotation de sortie,
- $Z$  = le nombre de dents roues menantes ou menées.

## Exercice n°4 Train épicycloïdal

### 1. Principe



### 2. Définitions et dispositions constructives

#### a) Définition

Un train épicycloïdal est composé d'organes rotatifs dont au moins un élément, appelé satellite, est susceptible de prendre deux mouvements de rotation indépendants :

- Une rotation autour de son axe propre.
- Une rotation par rapport à l'axe général du système.

Sur l'exemple ci-dessus, on constate que le satellite 2 a un mouvement de rotation autour de son axe propre ( $O_2, \vec{x}_0$ ) et un mouvement de rotation autour de l'axe ( $O_1, \vec{x}_0$ )

### 3. Vocabulaire : planétaire, satellites et porte satellite

La ou les roues qui tournent autour d'un axe en mouvement dans le repère lié au bâti sont appelées satellites (*pièces 2 sur le schéma cinématique*). Le porte-satellites est l'élément avec lequel les satellites sont en liaison pivot (*pièce 4*). Les planétaires sont les deux éléments dentés en contact avec les dents des satellites (*pièces 1 et 3*)

L'utilisation de plusieurs satellites ne change rien à la cinématique du train épicycloïdal. Ils sont ajoutés pour supprimer les efforts radiaux sur les arbres et réduire les efforts sur les dentures. Le système devient par contre fortement hyperstatique et il faut donc utiliser lors de la phase de conception des solutions techniques adéquates.

### 4. Avantages et inconvénients

Les avantages des systèmes planétaires sont :

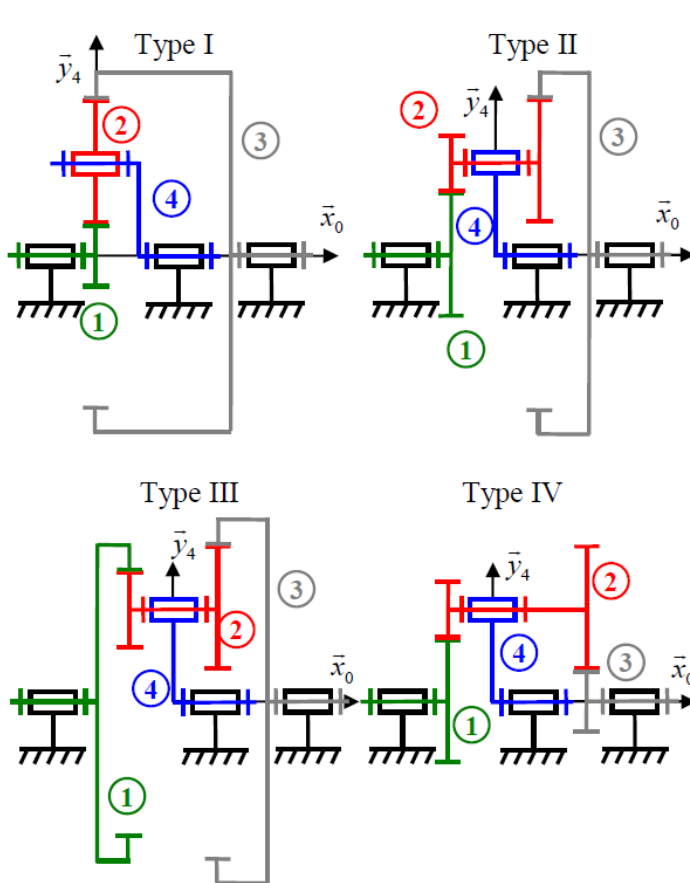
- possibilité d'arrangement coaxial des arbres,
- réduction du poids et de l'encombrement pour une puissance donnée,
- rapport de réduction très élevé possible avec un minimum d'éléments pour transmissions à faible puissance,
- excellent rendement quand le système est judicieusement choisi.

Le désavantage majeur des systèmes planétaires est la difficulté qu'on rencontre à aligner les éléments et à éviter les déformations qui modifient l'alignement.

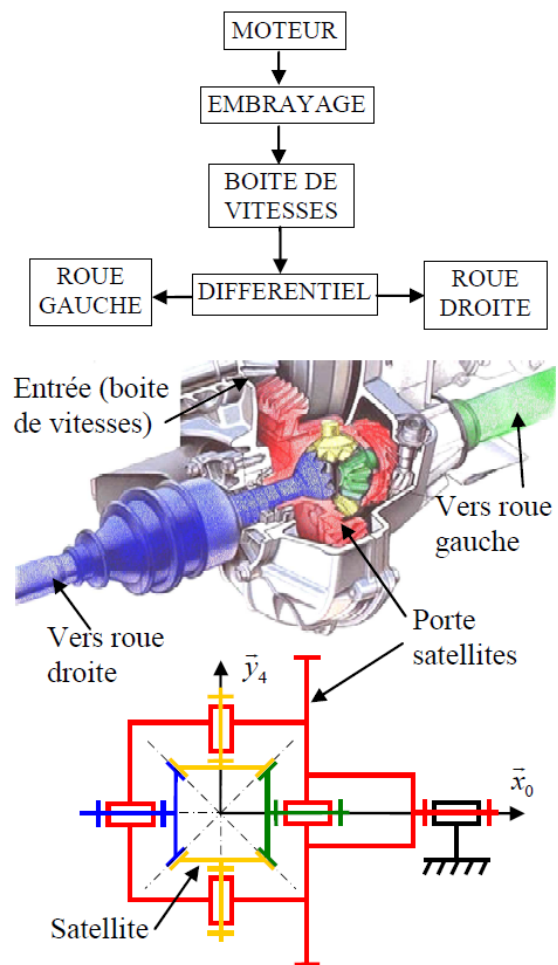
### 5. Dispositions constructives

Un train épicycloïdal est dit plan si tous les axes sont parallèles, ce sont la majorité des trains (roue de camion, treuil, motoréducteur, ...) Il existe 4 configurations de train épicycloïdal plan. Un train épicycloïdal est dit sphérique si tous les axes sont concourants, on y retrouve donc des engrenages coniques (différentiel de voiture, ...).

Les 4 configurations de trains épicycloïdaux plans.

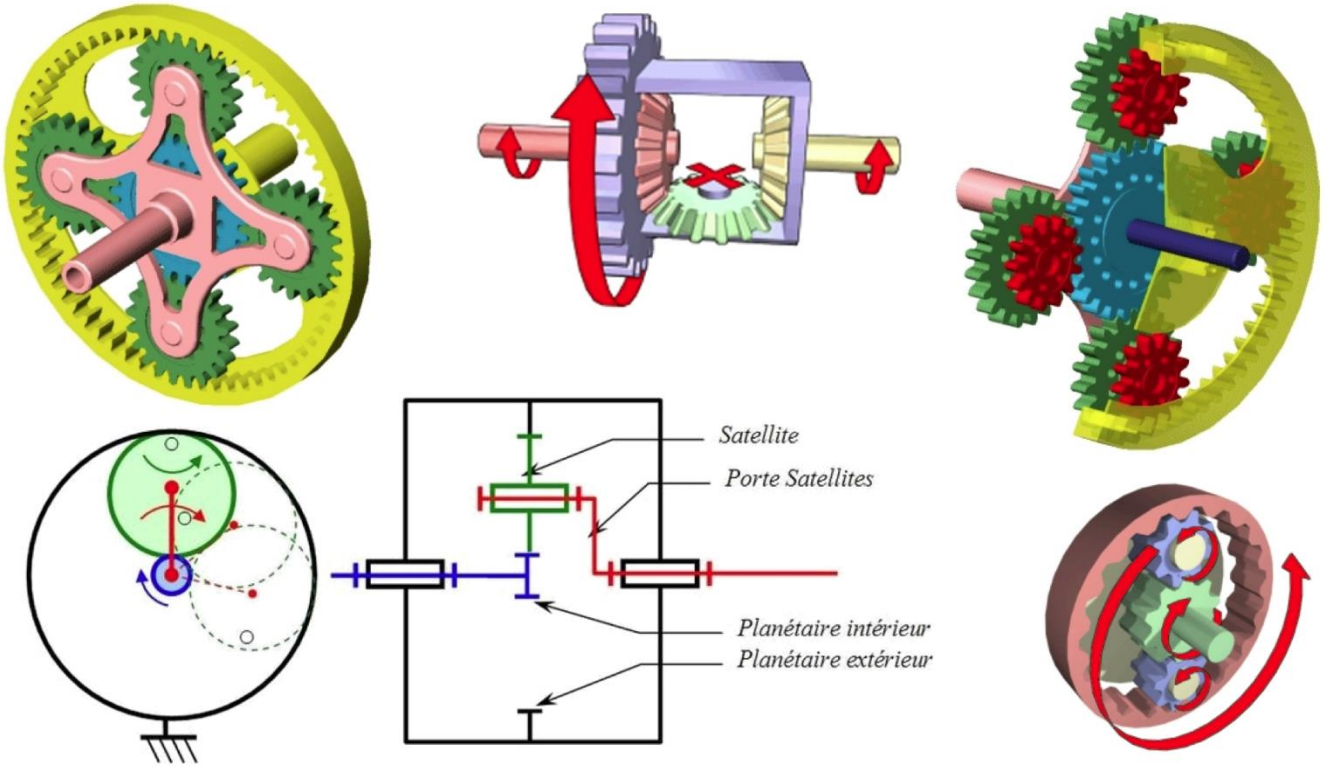


Différentiel automobile.



Pour les trains épicycloïdaux plans, les planétaires ou le porte satellite peuvent être l'arbre d'entrée ou de sortie mais généralement pour la majorité des cas, un des deux planétaires est l'entrée alors que l'autre est fixe et le porte satellite est la sortie.

Par rapport aux trains d'engrenages simples, les trains épicycloïdaux plans ont l'arbre de sortie et d'entrée alignés et des rapports de réduction élevés. La mise en série de plusieurs trains épicycloïdaux permet d'obtenir de grands rapports de réduction avec un encombrement relativement faible. Ils sont par contre plus chers et plus difficiles à réaliser.

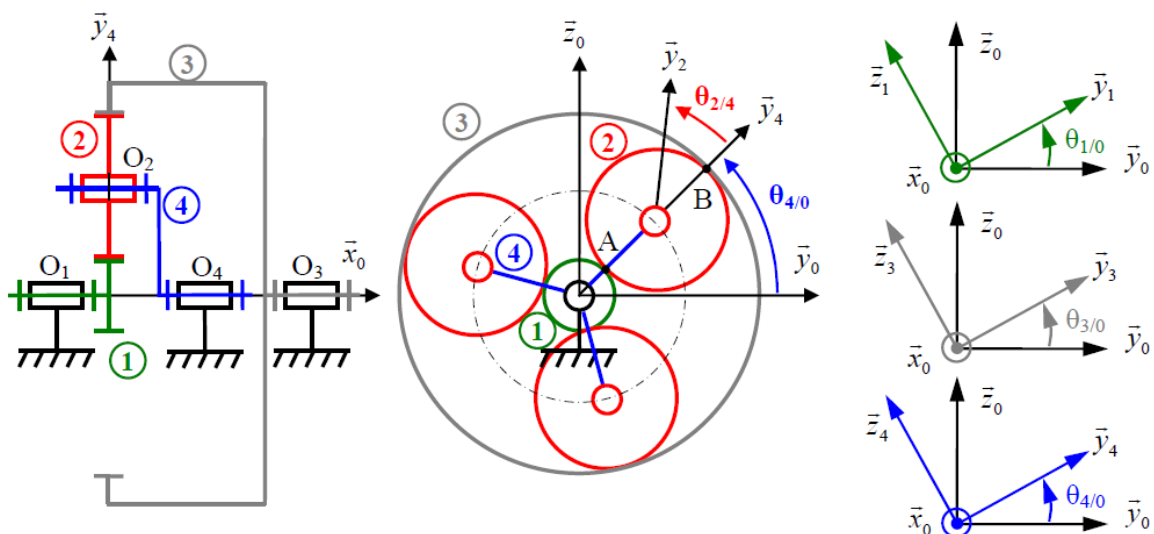


## 6. Formule de Willis

La relation de Willis correspond à la loi d'entrée sortie d'un train épicycloïdal. Elle fournit la relation entre les vitesses de rotation des trois entrées par rapport au référentiel du bâti. Pour déterminer cette relation, on peut soit écrire les conditions de roulement sans glissement aux points de contact A et B (méthode 1) ou soit utiliser les relations des trains simples (méthode 2).

### Données :

- **Roue 1** diamètre primitif  $d_1$ , nombre de dents  $Z_1$ , module  $m$ , moment d'inertie  $I_1$  selon  $\vec{x}_0$
- **Roue 2** diamètre primitif  $d_2$ , nombre de dents  $Z_2$ , module  $m$ , moment d'inertie  $I_2$  selon  $\vec{x}_0$
- **Couronne 3** diamètre primitif  $d_3$ , nombre de dents  $Z_3$ , module  $m$ , moment d'inertie  $I_3$  selon  $\vec{x}_0$
- **Porte-satellite 4** moment d'inertie  $I_4$  selon  $\vec{x}_0$

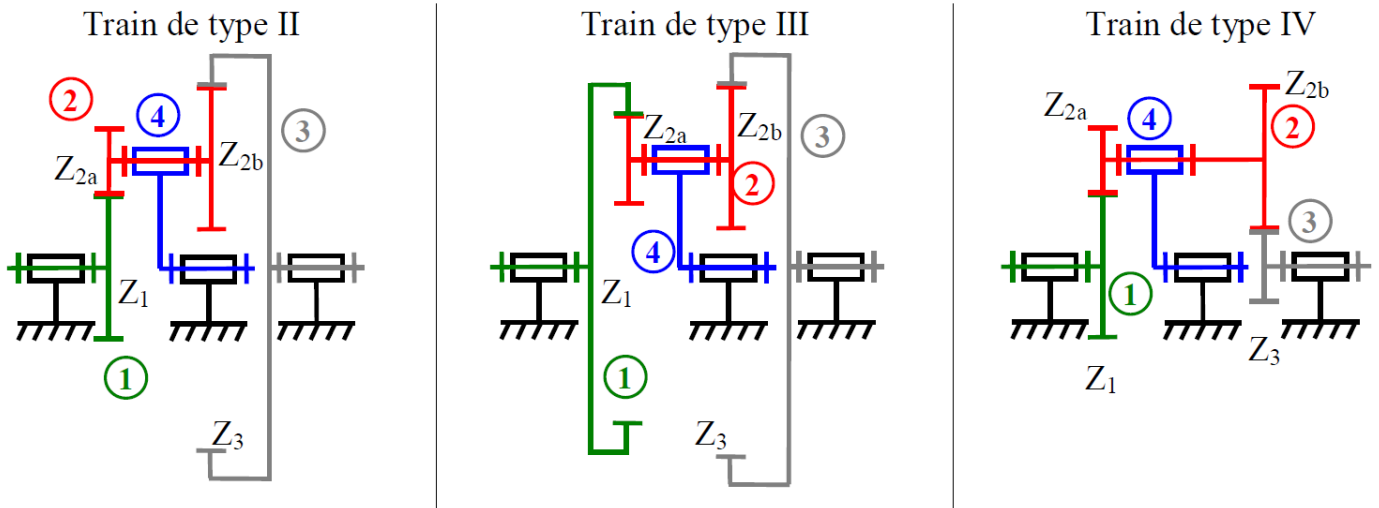


**Question n°1 :** Etablir la formule de Willis en utilisant les conditions de roulement sans glissement en A et B (méthode 1) et pour le train épicycloïdal de type I ci-dessus.

On remarque que si l'on observe le mouvement dans le référentiel du porte satellite 4, chaque roue tourne autour d'axes fixes par rapport à ce référentiel. On peut donc écrire la loi entrée-sortie d'un train d'engrenage simple dans ce référentiel en prenant les planétaires 1 et 3 comme entrée-sortie. Puis en écrivant la composition de mouvement sur les vecteurs vitesses instantanées de rotation on retrouve la formule de Willis. (méthode 2).

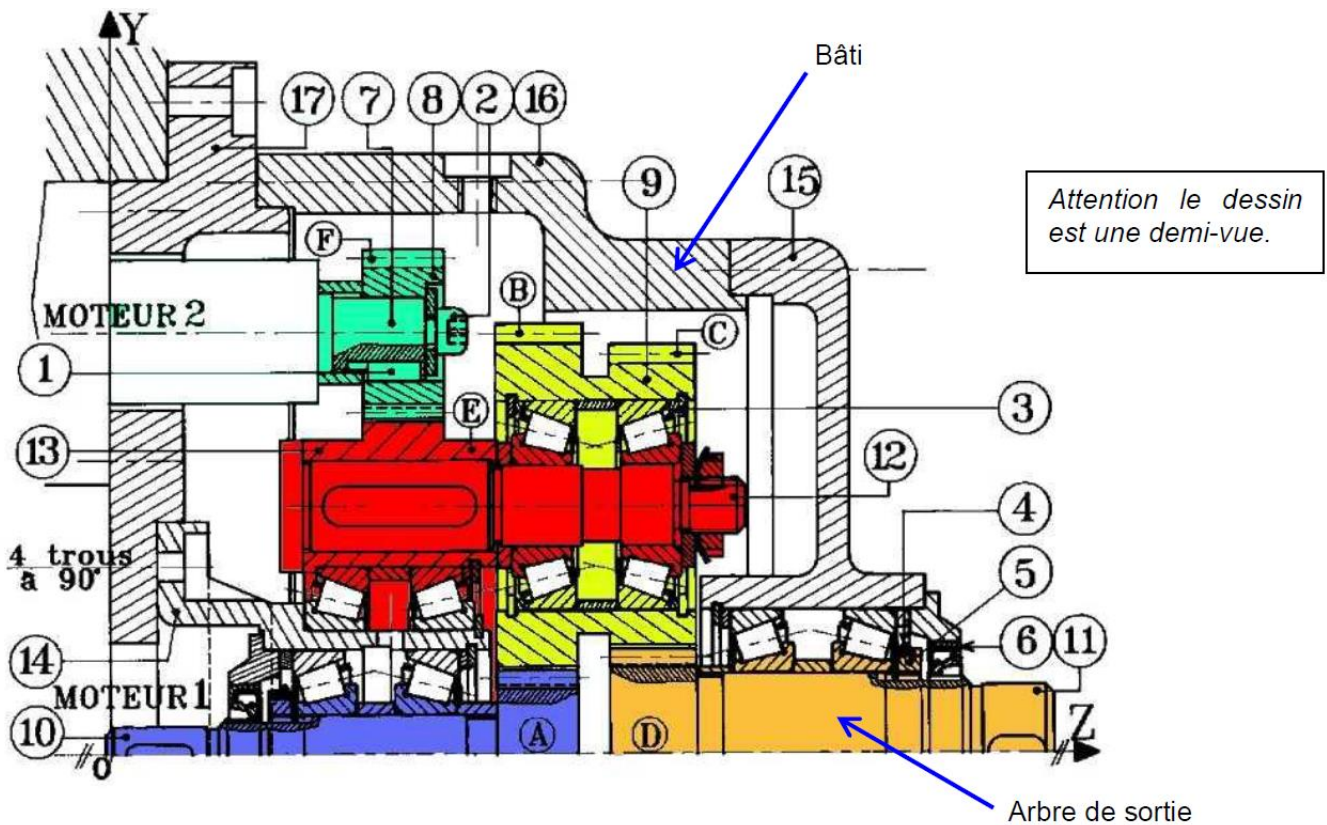
**Question n°2 :** Etablir la formule de Willis en utilisant la méthode 2.

**Question n°3 :** Pour les trains de type II, III et IV (figure ci-dessous) déterminer l'expression de la formule de Willis.



### Exercice n°5 Boîtier de commande de raboteuse

Le boîtier de commande étudié permet de transmettre, par l'intermédiaire d'un réducteur, le mouvement de rotation des deux moteurs 1 et 2 à un arbre de sortie.





Le mouvement d'entrée est reçu par le boîtier tournant 5, entraîné par cinq courroies trapézoïdales 8, et guidé en rotation par rapport au bâti 18 à l'aide de deux roulements à billes 23 et 28.

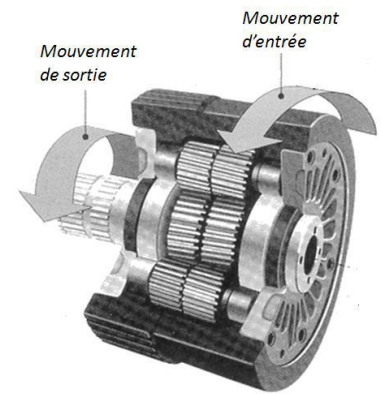
Les flasques 16 permettent le montage des organes intérieurs. Ils sont munis de joints d'étanchéité 22 et 29.

Les trois axes 9, guidés en rotation par rapport au boîtier tournant 5 à l'aide de deux roulements à aiguilles 4 et 11, portent les trois satellites doubles 6-10.

Les liaisons encastrement entre les axes 9 et les satellites 6 et 10 sont assurées (élastiquement) par de la matière plastique injectée entre les axes et les pignons préalablement dentelés (voir coupe A-A et B-B).

Les satellites 10 engrènent avec le planétaire 24 (qui est en liaison encastrement avec le bâti 18 à l'aide d'un assemblage cannelé).

Les satellites 6 engrènent avec le planétaire 31 (qui est en liaison encastrement avec l'arbre de sortie 32 à l'aide d'un assemblage cannelé). Cet arbre de sortie 32 est guidé en rotation par rapport au bâti 18 à l'aide de deux roulements à aiguilles 19 et 21.



**Question 1 :** Déterminer l'expression du rapport de transmission en fonction des nombres de dents des roues dentées.

**Question 2 :** Faire l'application numérique.

**Question 3 :** Retrouver ce résultat en inversant, par rapport au choix fait précédemment, l'ordre des planétaires dans la relation de Willis.

## Exercice n°7 Chariot de manutention motorisé

On s'intéresse à un chariot motorisé du fabricant HYSTER utilisé pour assister des opérateurs dans des tâches de manutention de charges lourdes.

La rotation du timon autour d'un axe vertical permet de diriger le chariot dans la direction souhaitée.

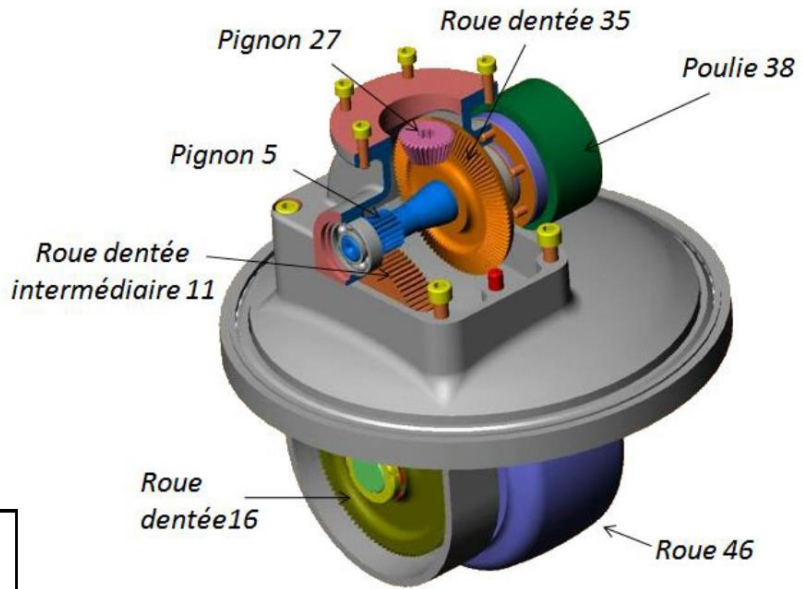
La rotation du timon autour d'un axe horizontal permet de freiner le chariot. Le freinage (frein à sangle agissant sur la poulie 38) est automatiquement appliqué et le courant coupé lorsque le timon se trouve en position haute ou basse.

Les commandes des vitesses avant et arrière et la commande d'élévation de la fourche qui supporte la charge, sont placées sur la poignée du timon, sous la main de l'utilisateur.

L'étude porte plus particulièrement sur l'unité **motrice** et **directrice** du chariot. Cet ensemble se compose de :



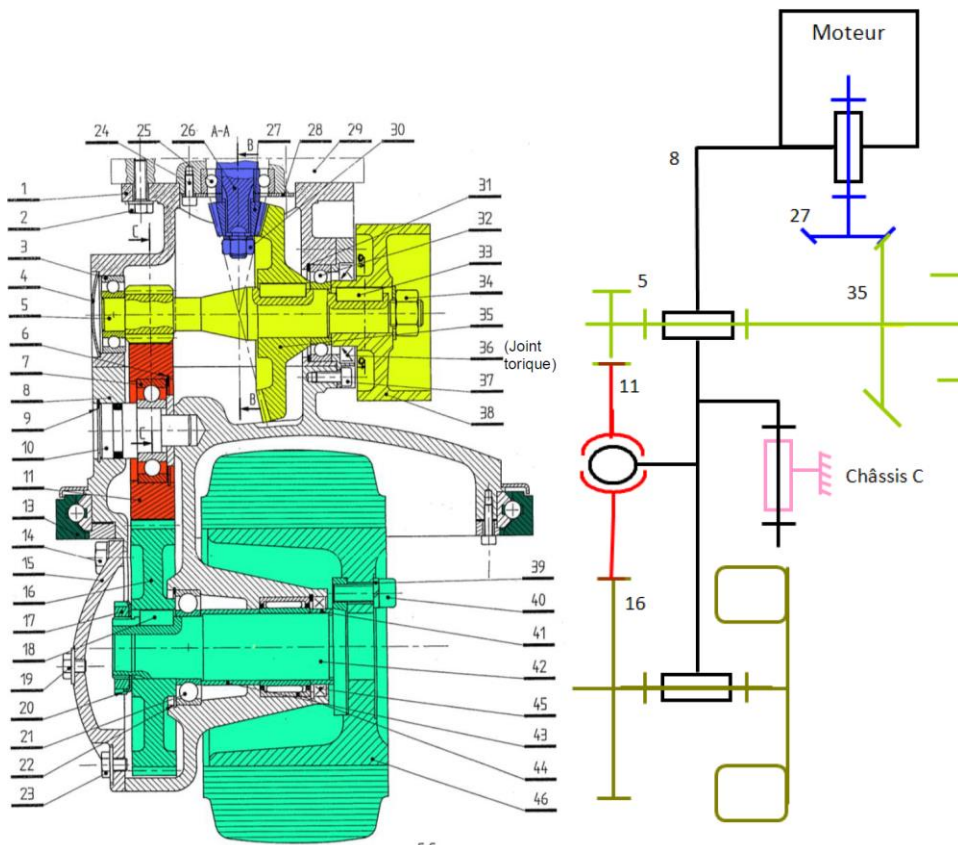
- un moteur à courant continu M, 24 Volts, à axe vertical, à fixation par bride, alimenté par batteries.  $N=1500$  tr/min,
- une chaîne cinématique (voir représentation technique 2D) composée de :
  - un engrenage conique à denture droite ( $m=1,5$ ) :
    - pignon d'entrée 27 :  $Z_{27} = 16$  dents,
    - roue dentée conique 35 :  $Z_{35} = 84$  dents,
  - un train d'engrenages cylindriques à denture droite ( $m=1,5$ ) :
    - pignon 5 :  $Z_5 = 14$  dents,
    - roue dentée intermédiaire 11 :  $Z_{11} = 56$  dents,
    - roue dentée 16 :  $Z_{16} = 75$  dents,
  - une roue 46 dont le rayon est de  $r = 90$  mm,
- un roulement particulier 13, permettant au carter 8 de pivoter par rapport au châssis C du chariot autour de l'axe vertical.



(voir vidéos sur site du professeur)

**Unité motrice et directrice**  
*Carter 8 écorché*  
*Arbre 26 et cloche 15 manquants*

Une représentation technique 2D, ainsi qu'un schéma cinématique de l'unité motrice et directrice sont donnés ci-dessous.



Fonction	Critère	Niveau
FC2	...	...
	Vitesse d'avance du chariot	2 km/h maxi
	...	...

Objectif : Vérifier le critère de la fonction FC2.



**Question 1 :** Compléter le tableau ci-dessous en donnant les caractéristiques des roues dentées et des pignons.

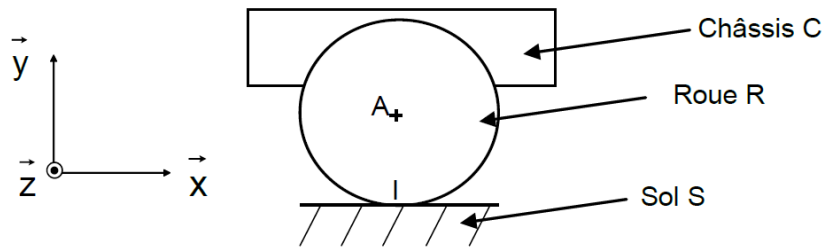
Repère de la roue	Module m	Nombre de dents z	Diamètre primitif D
27			
35			
5			
11			
16			

**Question 2 :** Déterminer, en tr/min, la vitesse de rotation de la roue 46 par rapport au carter 8.

On suppose qu'il y a roulement sans glissement au contact roue/sol.

**Question 3 :** Déterminer, dans le cas d'un déplacement du chariot en ligne droite, la vitesse d'avance du chariot.

NB : On utilisera le schéma et le repère ci-contre



**Question 4 :** Conclure quant au respect du critère de la fonction FC2.

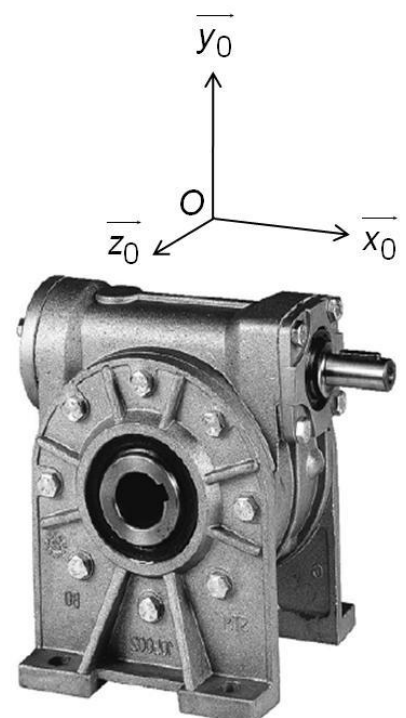
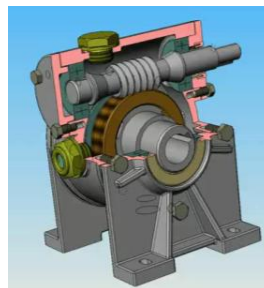
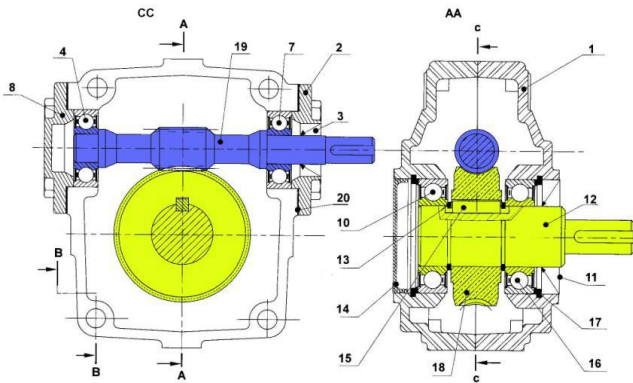
## Exercice n°8 Roue et vis sans fin

### Réducteur Girard Transmissions.

On désire obtenir, en utilisant un réducteur roue et vis sans fin dont la vis possède 4 filets, le même rapport de réduction que le réducteur étudié dans l'exercice 1.

**Question 1 :** Dessiner, en utilisant des couleurs, le schéma cinématique du réducteur dans le plan et dans le plan  $(O, \vec{x}_0, \vec{y}_0)$  et  $(O, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$ .

**Question 2 :** Déterminer le nombre de dents que doit avoir la roue dentée.

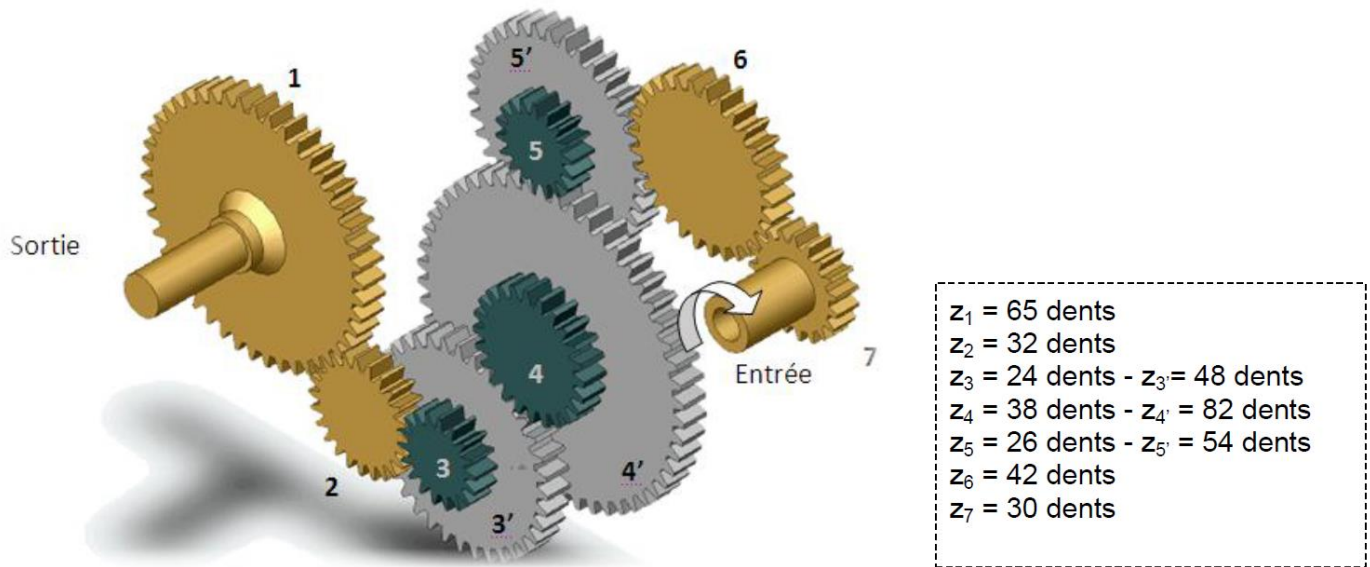


NB :

- La pièce 20 est un joint plat.
- La pièce 3 est un joint torique.

## Exercice n°9 Train cylindrique

Un train d'engrenages, dans lequel toutes les roues dentées sont en mouvement de rotation d'axes parallèles par rapport au bâti, est représenté sur la figure ci-dessous :



**Question 1 :** Indiquer, à l'aide de flèches, le sens de rotation de chacune des roues dentées.

**Question 2 :** Déterminer le nombre d'engrenages, puis le nombre d'engrenages à contact extérieur.

**Question 3 :** Donner l'expression du rapport de transmission  $i = \frac{\omega_e}{\omega_s}$  du train d'engrenages.

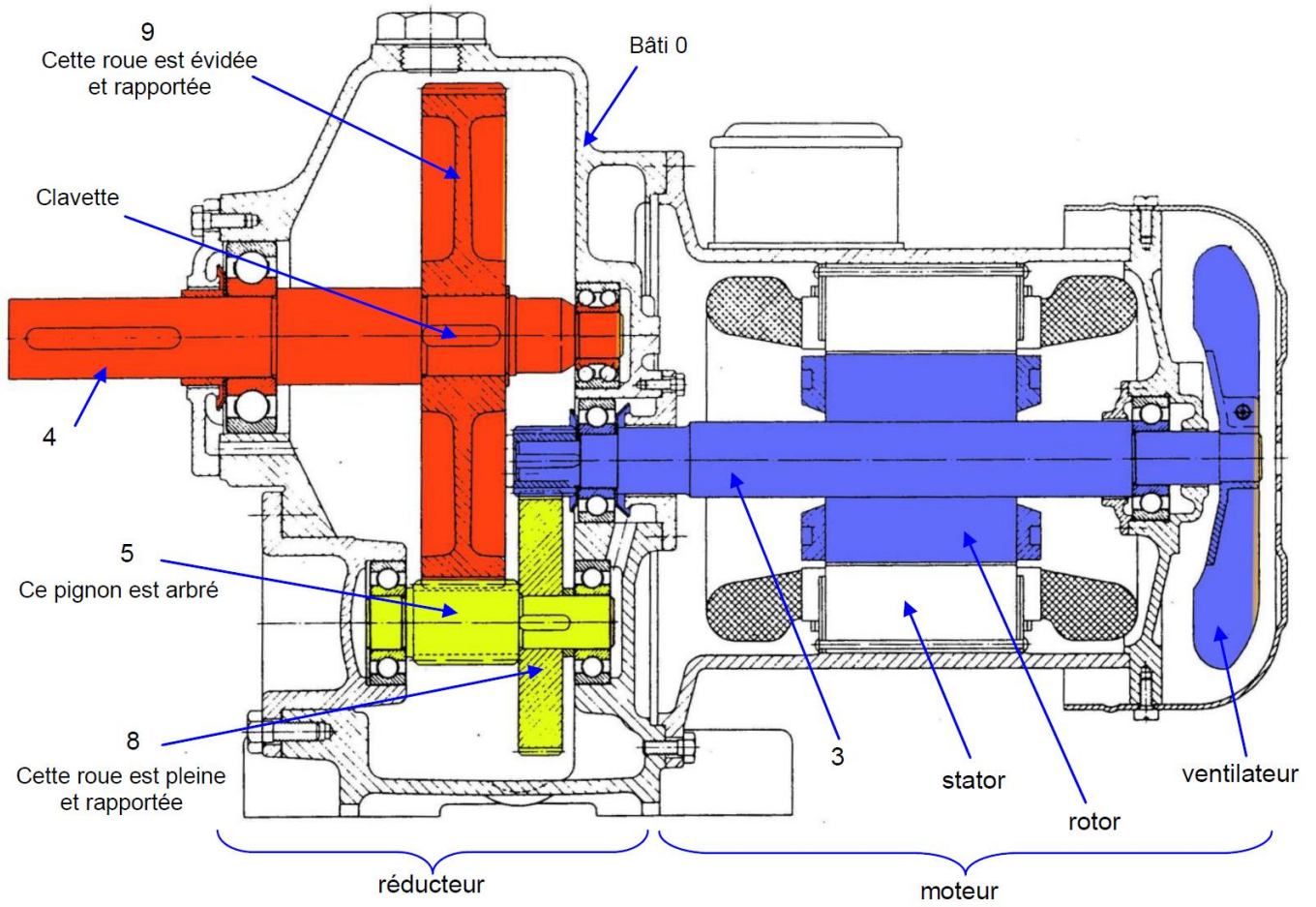
**Question 4 :** Faire l'application numérique. En déduire s'il s'agit d'un réducteur ou d'un multiplicateur de vitesse.

## Exercice n°10 Motoréducteur SEW.

L'étude porte sur un motoréducteur SEW.



Motoréducteur SEW



**Question 1 :** Réaliser le schéma cinématique plan, puis déterminer la loi E/S du système (c'est-à-dire le rapport de transmission).